

⑫ 公開特許公報 (A) 平2-183131

⑤ Int. Cl.³
G 01 K 11/12

識別記号 庁内整理番号
F 7409-2F

⑬ 公開 平成2年(1990)7月17日

審査請求 未請求 請求項の数 7 (全6頁)

⑭ 発明の名称 光ファイバセンサ

⑮ 特 願 平1-2193

⑯ 出 願 平1(1989)1月9日

⑰ 発 明 者 荻 澤 信 昌 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社
横浜製作所内

⑱ 出 願 人 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市東区北浜5丁目15番地

⑲ 代 理 人 弁理士 越 場 隆

明 細 書

1. 発明の名称 光ファイバセンサ

2. 特許請求の範囲

(1) 特定の温度変化に対して該温度変化に曝された部分の線方向の長さを収縮させるように構成された付勢部材と、該温度変化によって発生する該付勢部材の局所的な収縮に対応して同じ部位が屈曲するように該付勢部材と一体に構成された光ファイバとを備え、該光ファイバを伝播する光を後方散乱損失測定法により観測することによって前記温度変化の発生並びに発生位置を検知するように構成されていることを特徴とする光ファイバセンサ。

(2) 前記付勢部材が、温度に対して負の線膨張係数を有する材料により形成されていることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバセンサ。

(3) 前記付勢部材が、形状記憶合金を含む金属によって構成されていることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバセンサ。

(4) 前記付勢部材が、検知すべき熱によって軟化あるいは溶出する部材によって、自由長よりも長い伸長状態に付勢されたコイルバネであることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバセンサ。

(6) 前記付勢部材と前記光ファイバとが、互いに撚り合わされて撚糸を形成していることを特徴とする請求項1から請求項4までの何れか1項に記載の光ファイバセンサ。

(7) 前記付勢部材と前記光ファイバとが、線方向に所定間隔で接着剤により相互に結合されていることを特徴とする請求項1から請求項6までの何れか1項に記載の光ファイバセンサ。

BEST AVAILABLE COPY

3. 発明の詳細な説明

産業上の利用分野

本発明は感熱センサに関する。より詳細には、本発明は、長距離にわたる検出部を敷設可能であり、且つ、遠隔地において熱検知位置を検出することのできる光ファイバを使用した全く新規な感熱センサの構成に関する。

従来の技術

最も広く使用されるセンサの一種に熱感知センサがある。代表的な熱感知センサとしては、熱電対、サーミスタおよびバイメタルのように、検知した熱変化量を電気抵抗の変化やスイッチの断続等の電気量の変化によって出力するように構成されたものがある。

即ち、熱電対は、異種金属の接合点に熱が加わると起電力を発生する現象を利用したものである。また、サーミスタはMn、Co、Ni、Fe、Cu等の酸化物複合焼結体の電気抵抗の温度係数が大きいことを利用したものである。バイメタルは、互に線膨

求められる施設の規模を考えると非現実的であるといわざるを得ない。

長尺の検出部を構成し得る公知の感熱センサとしては、熱によって発色あるいは変色する特殊な合成樹脂や顔料をシートに塗布した感熱紙（サーモラベル）等も知られている。しかしながら、このような感熱センサは、それ自体の色の変化で熱検知を出力するので、遠隔位置から熱検出を検知することは依然として実質的に不可能である。

そこで、本発明の目的は、上記従来技術の問題点を解決し、長距離に亘る熱感知が可能であり、且つ、遠隔地においても熱を検知した位置を検出することのできる新規な感熱センサを提供することにある。

課題を解決するための手段

即ち、本発明に従うと、特定の温度変化に対して該温度変化に曝された部分の線方向の長さを収縮するように構成された付勢部材と、該温度変化によって発生する該付勢部材の局所的な収縮に対

張率の異なる金属を貼り合わせ、熱が加わることによって貼り合わせた金属板が反ることを利用して、これによってスイッチや可変抵抗器を制御するものである。

発明が解決しようとする問題点

上述のような種々の感熱センサは、それぞれの特徴に応じて種々の用途に利用されているが、従来の全ての感熱センサに共通する問題として、1つのセンサが検出可能な領域が狭い範囲に限られるという問題がある。

即ち、1つの感熱センサが検出できる領域は、各センサの検出部の近傍のみである。従って、例えば敷設されたケーブル、パイプライン等の全長に亘って熱的な監視を行おうとした場合は非常に多くの数の熱感知センサを配置する必要がある。また、このような用途で、検知すべき熱変化があった位置をも特定しようとした場合、配置した多数のセンサの出力をそれぞれ個別に特定の監視所に接続する必要があり、実際にこのような用途が

応して同じ部位が屈曲するように該付勢部材と一体に構成された光ファイバとを備え、該光ファイバを伝播する光を後方散乱損失測定法により観測することによって前記温度変化の発生並びに発生位置を検知するように構成されていることを特徴とする光ファイバセンサが提供される。

作用

光ファイバは、後述するように、ファイバ中を伝播する光の伝播損失の変化を入射端から出射端まで連続的に検出することができる。本発明に係る熱感知センサは、このような光ファイバの特性を応用したものである。

即ち、光ファイバ中を伝播するとき、光はファイバ中の各部位においてレイリー散乱とよばれる後方散乱を生じる。この後方散乱レベルを時間軸上で検出することによって、光ファイバ中を伝播する光が、光ファイバの各部位における伝播損失により減衰する様子を連続的に測定することができる。これを後方散乱損失測定法と呼び、この方

法を実施するための装置として光ファイバアナライザ(OTDR)が知られている。

通常の光ファイバに対して光ファイバアナライザを使用して伝播光の状態を観測すると、伝播光は入射端から出射端に向かって、滑らかに連続して減衰してゆく。ところが、光ファイバの途中に何らかの障害があり、その部位で光ファイバの伝播損失が局部的に増加すると、光ファイバアナライザには段階的なレベルの低下がその障害が発生した位置に現れる。そこで、本発明に係る光ファイバセンサでは、光ファイバと付勢部材とを組み合わせて、被測定領域内で温度変化が発生した場合に光ファイバに対して局部的に伝播損失の増加を発生するような物理量を印加するように構成している。

即ち、本発明に係る熱感知センサは、付勢部材の熱変化による収縮により、光ファイバにも例えば曲げを与える等して変形させ、この変形によって生じる光ファイバの伝播損失を後方散乱損失測定法によって検出するものである。

その部材本来の形状よりも長さが短くなるような形状を部材に記憶させ、これを低温で一旦伸長した後光ファイバと撚り合わせてセンサを作製する。こうして得られた光ファイバセンサに所定の温度以上の熱が加わると、付勢部材は記憶させられているコイル状の形状を取り戻して全長が短くなる。従って、これと撚り合わされた光ファイバに曲げが生じる。

尚、形状記憶合金としては、チタン(Ti)とニッケル(Ni)との合金であるTiNi系合金が広く知られている。この合金はNiの含有量によって変態温度を制御することができるので、異なった成分比を持つ形状記憶合金—光ファイバ撚合型熱感知センサを複数本設置すれば、加わった温度を段階的に判定することもできる。また、パネや他の臨界温度の形状記憶合金線と組み合わせることによって、検出すべき熱が消失した後に自動的に初期状態を復元するものも作製できる。

更に、検出すべき熱で軟化、崩壊、消失あるいは熔融するようなスペーサ部材によってコイルバ

例として、熱変化によって光ファイバに曲げを与えるような付勢部材の構成について述べる。

光ファイバに曲げを与える構造としては、例えば温度変化に対して負の線膨張係数を持つ材料を光ファイバと撚合せる方法が簡単である。即ち、光ファイバ自体は正の非常に小さな線膨張係数を有し、温度が上昇しても長さに殆ど変化を生じない。従って、負の線膨張係数を有するファイバ状の付勢部材と光ファイバとを撚り合わせて得られるセンサでは、温度の上昇に伴って付勢部材が収縮し、光ファイバとの線長差によって光ファイバの余長部分を撓め、光ファイバの伝播損失がその部位で増加する。尚、負の線膨張係数を持つ材料としては、LCP(液晶高分子プラスチック)、プラスチック超延伸体の単線等を例示することができる。

また、高温状態で与えられた形状を記憶し、これを低温で変形させても再び高温に加熱すると元の形状に回復する形状記憶合金を用いても同様の効果をあげることができる。即ち、コイル状等の、

ネに伸長状態に保ち、これを光ファイバに結合することによっても実現できる。この場合は、スペーサが何らかの変化に対して寸法の変化を生じればよいので、熱に限らず、放射線、紫外線、有機溶媒等の検出が可能なセンサを容易に構成することができる。

また、付勢部材と光ファイバとの結合は、前述した撚り合わせの他、光ファイバと付勢部材とを所定間隔で接着する等の方法も簡便であり、用途や使用する部材に応じて適宜選択すべきである。

以下に図面を参照して本発明をより具体的に詳述するが、以下の開示は本発明の一実施例に過ぎず、本発明の技術的範囲を何ら限定するものではない。

実施例

第1図(a)および(b)は、本発明に係る光ファイバセンサの基本的な構成を説明する図である。尚、後述するように、第1図(a)は、光ファイバセンサの初期状態を、第1図(b)は、光ファイバセンサの

熱検知状態をそれぞれ示している。

第1図(a)に示す装置は、光ファイバ1と付勢部材2とを所定間隔 x で結合点 $3_1 \sim 3_3$ において接着剤で結合されて構成されている。付勢部材2は熱変化に対して負の線膨張率を有する材料で形成されており、また、光ファイバ1は、その一端を光ファイバアナライザ4に結合されている。

第1図(a)に示した状態は、いわば初期状態であり、光ファイバ1と付勢部材2とは互いに直線状になっている。この状態では、光ファイバアナライザには、第1図(a)に示すように、両端にピークAおよびBがあり、その間がなだらかに単調減少する光パワーが観測される。ここで、区間aのなだらかな傾斜として現れるものが、この光ファイバの通常の伝播特性である。

尚、両端に現れているピークA、Bは、光ファイバの入射端並びに出射端におけるフレネル反射に起因するものであり、実際にはアナライザの受光素子の飽和を防止するために除去することが好ましい。具体的には、光ファイバ1と光ファイバ

まず、第2図(a)に示すように、形状記憶合金線22を高温で長さXのコイル状に成形し、形状記憶合金線22にこの形状を記憶させる。続いて、第2図(b)に示すように、形状記憶合金線22を冷却して低温状態にしてから延伸して長さYの直線状にする。

こうして得られた直線状の形状記憶合金線22を付勢部材として、第2図(c)に示すように、光ファイバ1と所定間隔 y で接着して結合する。光ファイバ1は、第1図に示した装置と同様に光ファイバアナライザ4に結合する。また、形状記憶合金線22の一端には、他端を所定の位置に固定したコイルバネ23を結合する。

以上のように構成した光ファイバセンサにおいて、第2図(d)に示すように、例えば区間 $3_1 \sim 3_3$ との間が加熱されると、形状記憶合金線22は、第2図(a)で示したような形状を回復してコイル状になり、区間 $3_1 \sim 3_3$ の距離を Δy だけ減少する。従って、これと結合された光ファイバは、区間 $3_1 \sim 3_3$ において屈曲し、この区間の伝播損失を増

アナライザ4との結合に方向性結合器を用いたりゲートを設ける等して除くことができる。

以上のように構成された光ファイバセンサ装置において、例えば区間 $3_1 \sim 3_3$ が何らかの原因で加熱されると、負の線膨張率を有する付勢部材2はこの区間で収縮し、その区間の長さを Δx だけ減じる。これに対して、光ファイバ1の線膨張率は正であり、従って光ファイバ1は付勢部材に引かれてこの区間に屈曲を生じる。すると、光ファイバ1は、この屈曲が生じた区間 $3_1 \sim 3_3$ において伝播損失が急激に悪化するので、第1図(b)において光ファイバアナライザ4が示すように、区間 $3_1 \sim 3_3$ に対応した位置に、段差Cを表示する。

このように、本発明に係る光ファイバセンサを用いるならば、熱変化の検出と共に、長い検出区間のどこで熱変化が生じたかをも同時に検出することができる。

第2図(a)~(d)は、付勢部材として形状記憶合金を使用した場合の作製法と構成について説明する図である。

加する。増加した伝播損失を検出する方法は、第1図に示した装置と全く同様なので説明は省略する。

尚、形状記憶合金の低温状態での剛性は、形状回復時の $1/3$ 以下であり、コイルバネ23に適切なバネ定数を設定することによって、区間 $3_1 \sim 3_3$ の温度が再び低下したときには元のように直線状に戻る。

更に、第3図(a)および(b)は、付勢部材の他の構成例を示す図である。

即ち、第3図(a)に示すように、この光ファイバセンサの付勢部材30は、コイルバネ32と、このコイルバネ32に所定間隔で挟まれているスペーサ31とから構成されている。光ファイバ1は、コイルバネ32に所定区間毎に接着されているが、スペーサ31が挟まれた区間では、長さ z まで伸長状態にあるコイルバネ32に接着されていることに留意されたい。

さて、上述のように構成された光ファイバセンサにおいて、区間 $3_1 \sim 3_3$ が加熱されると、この

区間のスペーサ31は溶出してコイルバネ32は自由長に戻る。従って、これに結合された光ファイバは、この区間31-32で屈曲して伝播損失を増加する。この伝播損失の増加を検出する方法については、第1図および第2図において示した装置と同様なので説明は省略する。

尚、本実施例では感熱センサとして説明したが、付勢部材を正の線膨張率を有するものとすることによって、逆に局部的な温度低下を検出するセンサとしても構成可能である。

作製例

形状記憶合金線を付勢部材として使用して、本発明に係る光ファイバセンサを実際に作製した。

付勢部材として使用した形状記憶合金線は、80℃で形状回復する特性を持つ直径0.3mmφのTiNi系形状記憶合金線である。

この形状記憶合金線500mを100℃に保った状態で治具に巻きつけて直径5mmφのコイル状に成形した。続いて、これを室温まで冷却した後、形

状記憶合金線が直線状になるまで延ばし、これを付勢部材とした。

一方、使用した光ファイバは、直径0.25mmφの光ファイバ素線に紫外線硬化型樹脂を被覆したシングルモード型光ファイバである。上述のようにして付勢部材とした形状記憶合金線とこの光ファイバとを、ピッチ300mmで捻合せて光ファイバセンサとした。この寄り合わせた状態での光ファイバの伝送損失は、波長1.3μmで0.45dB/kmであった。

以上のようにして作製した光ファイバセンサの一端を光ファイバアナライザに接続した後、任意の場所に90℃の熱湯をかけたところ、この部位では形状記憶合金が元のコイル状の形状を復元し、光ファイバに曲げを生じさせた。このとき、光ファイバアナライザ上では、0.06～0.2dBのレベル低下に相当する段差が観測された。また、一旦コイル状になった部位が常温に戻ってからもとの真直な状態に戻した場合、光ファイバアナライザ上の段差は消失した。更に、これを反復したが、上

述のような段差は再現性良く現れた。一方、75～70℃の熱湯をかけた部分には変化は観測されなかった。

発明の効果

以上説明したように、本発明に係る光ファイバセンサを使用するならば、長距離にわたり検出部を連続的に配置することができると共に、熱的な異常を検出した場合は、その位置も検出することができる。このような特性は、本発明に係る光ファイバセンサ独自の構成によるものであり、従来の感熱センサでは全く成し得なかったものである。

尚、本発明に係る光ファイバセンサは、通信、電力等のケーブル、ガス、水道、石油等の送配管等のように、長区間にわたって連続的に熱的な異常を検知する必要がある設備に有利に利用することができる。

光ファイバ自体は無誘導で化学的に安定であり、また、付勢部材は必要な検出温度範囲等に応じて広く選択することができるので、この光ファイバ

センサを利用できる応用分野は極めて広い。

4. 図面の簡単な説明

第1図(a)および(b)は、本発明に係る光ファイバセンサの構成例とその動作を模式的に示す図であり、

第2図(a)～(d)は、本発明に係る光ファイバセンサの他の構成例とその作製過程を説明する図であり、

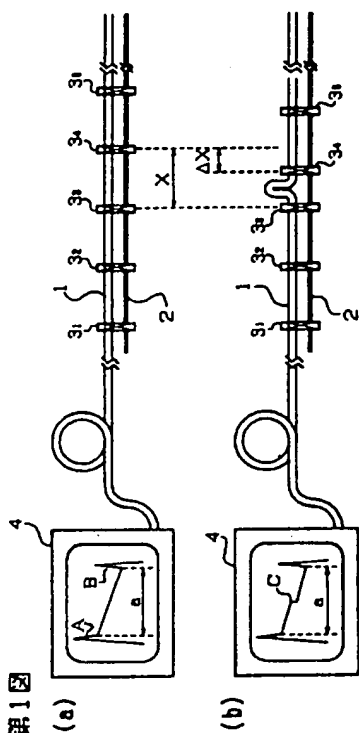
第3図(a)および(b)は、本発明に係る光ファイバセンサの更に他の構成例とその動作を示す図である。

(主な参照番号)

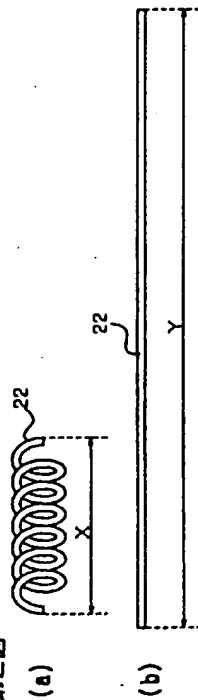
- 1・・・光ファイバ、
- 2、22、30・・・付勢部材（樹脂）、
- 4・・・光ファイバアナライザ、
- 23、32・・・コイルバネ、
- 31・・・スペーサ、

特許出願人 住友電気工業株式会社
代理人 弁理士 越 場 隆

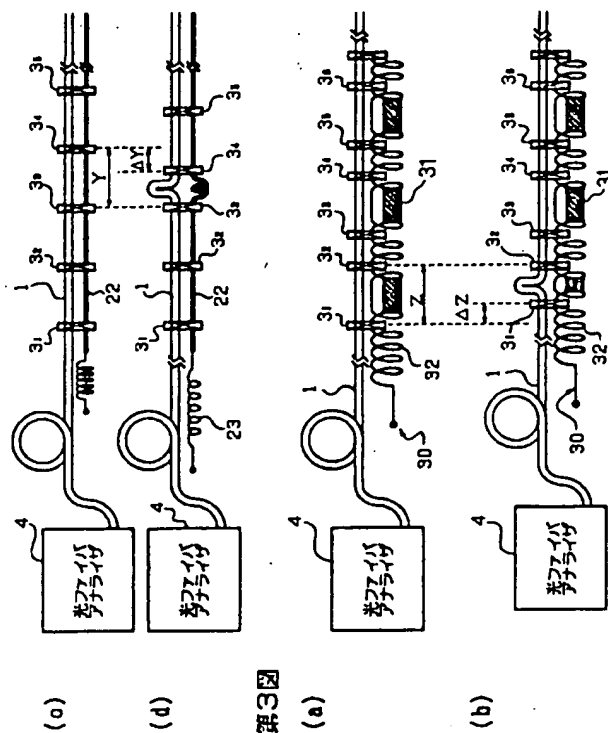
第1図



第2図



第3図



1...光ファイバ
22...形状記憶合金線
31...コイルバネ
2, 30...付着部材
31...スベーク

Japanese Kokai Patent Application No. Hei 2[1990]-183131

Translated from Japanese by the Ralph McElroy Translation Company
910 West Avenue, Austin, Texas 78701 USA

Code: 2512-77384

Ref.: CGW-235 US (BEALL78-15)

JAPANESE PATENT OFFICE
PATENT JOURNAL (A)
KOKAI PATENT APPLICATION NO. HEI 2[1990]-183131

Int. Cl. ⁵ :	G 01 K 11/12
Sequence Nos. for Office Use:	7409-2F
Filing No.:	Hei 1[1989]-2193
Filing Date:	January 9, 1989
Publication Date:	July 17, 1990
No. of Claims:	7 (Total of 6 pages)
Examination Request:	Not filed

OPTICAL FIBER SENSOR

Inventor:	Nobumasa Nirazawa Yokohama Works, Sumitomo Electric Industries, Ltd. 1 Taya-cho, Sakae-ku, Yokohama-shi, Kanagawa-ken
Applicant:	Sumitomo Electric Industries, Ltd. 5-15 Hitahama, Higashi-ku, Osaka-shi, Osaka-fu
Agent:	Takashi Koshiba, patent attorney

[There are no amendments to this patent.]

Claims

1. Optical fiber sensor characterized by the fact that it is equipped with a compressive member that can reduce its length in the linear direction of a section exposed to a specific

temperature change and an optical fiber integrated with said compressive member so that a corresponding section is bent due to the reduction of said compressive member in that area generated by said temperature change; that the occurrence of the above-mentioned temperature change and the position of the temperature change are detected by monitoring light propagating through said optical fiber using a backscattering loss measurement method.

2. The optical fiber sensor of Claim 1 characterized by the fact that the above-mentioned compressive member is formed of a material with a negative linear expansion temperature coefficient.

3. The optical fiber sensor of Claim 1 characterized by the fact that the above-mentioned compressive member is formed of a metal containing a shape memory alloy.

4. The optical fiber sensor of Claim 1 characterized by the fact that the above-mentioned compressive member is a coil spring forced into an expanded state that is longer than the original shape by a member that becomes softened or melts by means of heat to be detected.

6. The optical fiber sensor of any one of Claims 1-4 characterized by the fact that the above-mentioned compressive member and the above-mentioned optical fiber are twisted around each other so that a twisted yarn is formed.

7. The optical fiber sensor of any one of Claims 1-6 characterized by the fact that the above-mentioned compressive member and the above-mentioned optical fiber are coupled with each other at a prescribed interval in a linear direction by means of an adhesive.

Detailed explanation of the invention

Industrial application field

The present invention pertains to a heat-sensitive sensor. More specifically, the present invention pertains to a constitution of a new heat-sensitive sensor using an optical fiber capable of detecting heat from a remote position.

Prior art

One of the sensors is the heat-sensitive sensor. Conventional heat-sensitive sensors, include sensors such as thermocouples, thermistors, and bimetal sensors, which respond to thermal change by changing their electrical resistance or breaking contacts so that their electrical output also changes.

The thermocouple uses a phenomenon in which heat applied to a junction of different kinds of metals generates an electromotive force. The thermistor uses a large temperature coefficient of electrical resistance and is made by sintering oxide powders of Mn, Co, Ni, Fe, Cu, etc. The bimetal sensor uses a phenomenon in which metals with different linear expansion rates

are attached to each other and the composite metallic plate warps when heat is applied. Switches and variable resistors can be realized by these types of devices.

Problem to be solved by the invention

The above-mentioned various heat-sensitive sensors are used in various applications according to their characteristics, however, a problem that is common to all the conventional heat-sensitive sensors is that the area that can be monitored by one sensor is limited to a small region.

In other words, the area that can be monitored by one heat-sensitive sensor is limited to the vicinity of the detection part of each sensor. Therefore, for example, if thermal monitoring is carried out over the entire length of a buried cable or pipeline, it is necessary to arrange a great number of heat-sensitive sensors. Also, in such an application, to specify the position where there is a thermal change to be detected, it is necessary to individually connect the output of each sensor to specific monitoring stations, which, in actual practice is impractical considering the scale of facilities for such an application.

A well-known heat-sensitive sensor that can be realized with a long detection part is heat-sensitive paper (thermolabel), in which a special synthetic resin or pigment that becomes colored or changes color due to heat spread on a sheet. However, since such a heat-sensitive sensor detects heat by changes in color of the sensor itself, it is still practically impossible to detect the heat from a remote position.

Accordingly, the purpose of the present invention is to solve the problems of the above-mentioned conventional techniques and to provide a new heat-sensitive sensor that can detect heat over a large area and can detect the position where heat is detected, even from a remote position.

Means to solve the problem

In other words, the present invention provides an optical fiber sensor characterized by the fact that it is equipped with a compressive member that can reduce its length in the linear direction of a section exposed to a specific temperature change and an optical fiber integrated with said compressive member so that a corresponding section is bent due to the reduction of said compressive member in that area generated by said temperature change; that the occurrence of the above-mentioned temperature change and the position of the temperature change are detected by monitoring light propagating through said optical fiber using a backscattering loss measurement method.

Operation

The optical fiber, as will be mentioned later, can continuously detect changes in propagation loss of light propagating through the fiber. The heat-sensitive sensor of the present invention uses such a characteristic of the optical fiber.

In other words, when light propagates through an optical fiber, the light causes backscattering called Rayleigh scattering at each position in the fiber. With the detection of the backscattering level over time, the light propagating through the optical fiber can continuously detect the attenuation state due to the propagation loss at each section of the optical fiber. This is called the backscattering loss measurement method, and as a device for applying the method, an optical fiber analyzer (OTDR) is known.

If the state of the propagating light through an ordinary optical fiber is monitored using the optical fiber analyzer, the propagating light is smoothly and continuously attenuated from an incoming terminal to an outgoing terminal. On the other hand, if there is a certain obstacle in the optical fiber and the propagation loss of the optical fiber is increased in a certain section, a stepwise level decrease appears at the position where the obstacle is located in the optical fiber analyzer. Accordingly, in the optical fiber sensor of the present invention, the optical fiber and the compressive member are joined, and if a temperature change occurs in an area being measured, a physical deformation, which locally increases the propagation loss, is applied to the optical fiber.

In other words, in the heat-sensitive sensor of the present invention, the optical fiber is deformed, for example, bent, by means of the reduction due to the thermal change in the compressive member, and the propagation loss of the optical fiber due to the deformation is detected by the backscattering loss measurement method.

As an example, the constitution of the compressive member for bending the optical fiber due to thermal changes will be mentioned.

A simple structure for bending the optical fiber, for example, is to twist a material with a negative linear expansion temperature coefficient and the optical fiber around each other. The optical fiber itself has a very small positive linear expansion temperature coefficient and it seldom changes in length, even if the temperature increases. Therefore, with a sensor obtained by twisting the fibrous compressive member with a negative linear expansion temperature coefficient and the optical fiber, the compressive member becomes smaller with increased temperature, and an extra long part of the optical fiber is deflected by the linear length difference between the compressive member and the optical fiber, so that the propagation loss of the optical fiber is increased in that particular section. Also, as the material with a negative linear expansion temperature coefficient, a single wire of LCP (liquid crystal high-molecular plastic), plastic super-elongated body, etc., can be used.

Also, a similar effect can be attained by using a shape memory alloy that remembers a shape set at a high temperature and that recovers this original shape when it is reheated to a high temperature, even if it is deformed at low temperature. In other words, a shape such as coil shape with a length that is shorter than the original shape of the member, is stored in the member, and after it is elongated at a low temperature, it is twisted with the optical fiber, so that a sensor is manufactured. If heat at a prescribed temperature or higher is applied to the optical fiber sensor obtained in this manner, the coil shape stored in the compressive member is recovered, so that the entire length is shortened. Therefore, bending is caused in the optical fiber joined to the compressive member.

Also, as the shape memory alloy, a TiNi system alloy, which is an alloy of titanium (Ti) and nickel (Ni) is broadly known. Since the alloy can be set for different transformation temperatures by the content of Ni, if several shape memory alloy-optical fiber twisted heat-sensitive sensors are installed, the applied heat can be determined stepwise. Also, with the combination of a spring and other shape memory alloy wires with a critical temperature, the initial state can also be automatically restored after the heat to be detected is removed.

Furthermore, after a coil spring is held in an elongated state by a spacer member that softens, collapses, or melts due to the heat to be detected, it can also be coupled with the optical fiber. In this case, since the spacer can change its size as a response to various changes, a sensor capable of detecting radiation, ultraviolet rays, organic solvents, etc., without being limited to the heat can be easily constituted.

Also, as the coupling means of the compressive member and the optical fiber, in addition to the above-mentioned twisting, an adhesion method of the optical fiber and the compressive member at a prescribed interval is also simple and can be appropriately selected in accordance with the purposes and applications.

Next, referring to the figures, the present invention is mentioned in further detail, however, the following presentation is no more than an application example of the present invention and does not limit the technical scope of the present invention.

Application example

Figures 1(a) and (b) are illustrative diagrams showing a basic constitution of the optical fiber sensor of the present invention. Also, as will be mentioned later, Figure 1(a) shows an initial state of the optical fiber sensor, and Figure 1(b) shows a heat detected state of the optical fiber sensor.

The device shown in Figure 1(a) is constituted by coupling an optical fiber 1 and a compressive member 2 at coupling points 3₁-3₅ at a prescribed interval x by means of an adhesive. The compressive member 2 is formed of a material with a negative linear expansion

temperature coefficient, and one end of the optical fiber 1 is coupled to an optical fiber analyzer 4.

The state shown in Figure 1(a) is a so-called initial state, and the optical fiber 1 and the compressive member 2 each have a linear shape. In this state, the optical fiber analyzer, as shown in Figure 1(a), displays an optical power with peaks A and B at both ends, where the part between the peaks decreases smoothly and continuously. Here, the smooth slope of section a is an ordinary propagation characteristic of the optical fiber.

Also, the peaks A and B appearing at both ends are due to Fresnel reflection at the incoming terminal and the outgoing terminal of the optical fiber, and in actual practice, it is preferable to remove these peaks in order to prevent the saturation of the light-receiving elements of the analyzer. Specifically, the peaks can be removed by using a directional coupler for the coupling means of the optical fiber 1 and the optical fiber analyzer 4 or by installing a gate.

In the optical fiber sensor device with the above constitution, for example, if sections 3₃-3₄ are heated for some reason, the compressive member 2 with a negative linear expansion temperature coefficient becomes reduced in that section, and the length of the section is reduced by Δx . On the contrary, the linear expansion temperature coefficient of the optical fiber 1 is positive, so that the optical fiber 1 becomes larger than the compressive member, thereby causing bending in the section. Thus, in the optical fiber 1, since the propagation loss is reduced suddenly in the section 3₃-3₄ where the bending is caused, a step difference C appears at the position corresponding to the section 3₃-3₄ as shown by the optical fiber analyzer 4 in Figure 1(b).

In this way, if the optical fiber sensor of the present invention is used, the position of a thermal change over a long detection section, can be simultaneously detected along with the detection of the thermal change.

Figures 2(a)-(d) are illustrative diagrams showing a manufacturing method and a constitution for the case where a shape memory alloy is used as the compressive member.

First, as shown in Figure 2(a), a shape memory alloy wire 22 is molded at a high temperature in a coil shape with a length of X, and the shape is stored in the shape memory alloy wire 22. Then, as shown in Figure 2(b), the shape memory alloy wire 22 is cooled, held at a low temperature and stretched into a linear shape with a length of Y.

Using the linear shape memory alloy wire 22 obtained in this manner as the compressive member, as shown in Figure 2(c), it is coupled to the optical fiber 1 at a prescribed interval y by adhesion. The optical fiber 1 is coupled to the optical fiber analyzer 4 similarly to the device shown in Figure 1. Also, one end of the shape memory alloy wire 22, is coupled to a coil spring 23, whose other end is fixed to a prescribed position.

In the optical fiber sensor with the above constitution, as shown in Figure 2(d), for example, if the section 3₂-3₃ is heated, the shape memory alloy 22 recovers the coil shape shown

in Figure 2(a), and the distance of the section 3_2-3_3 is reduced by Δy . Therefore, the optical fiber coupled with it is bent in the section 3_2-3_3 , and the propagation loss in that section is increased. Since the method for detecting the propagation loss is similar to that of the device shown in Figure 1, its explanation will not be repeated.

Also, the rigidity of the shape memory alloy at low temperature is $1/3$ or less than the recovered shape, and with the setup of an appropriate spring constant in the coil spring 23, the shape memory alloy can return to a linear shape when the temperature of the section 3_2-3_3 is lowered again.

Furthermore, Figures 3(a) and (b) show another constitutional example of the compressive member.

As shown in Figure 3(a), the compressive member 30 of the optical fiber sensor consists of a coil spring 32 and a spacer 31 that is sandwiched at a prescribed interval in the coil spring 32. It should be noted that the optical fiber 1 is adhered at each prescribed interval to the coil spring 32; however, in the section where the spacer 31 is sandwiched, it is adhered to the coil spring 32 in an elongated state up to a length of z .

On the other hand, in the optical fiber sensor with the above-mentioned constitution, if the section 3_1-3_2 is heated, the spacer 31 in that section melts, and the coil spring 32 is returned to its original length. Therefore, the optical fiber coupled to it is bent in the section 3_1-3_2 , so that the propagation loss is increased. Since the method for detecting the increase in the propagation loss is similar to that of the device shown in Figures 1 and 2, its explanation will not be repeated.

Also, in this application example, the heat-sensitive sensor has been explained; however, with the adoption of a compressive member with a positive linear expansion temperature coefficient, a sensor for detecting a local temperature decrease can also be realized.

Preparation example

Using a shape memory alloy wire as the compressive member, the optical fiber sensor of the present invention was actually prepared.

The shape memory alloy wire used as the compressive member is a TiNi system shape memory alloy with a diameter of $0.3\text{ mm}\varnothing$ having a shape recovery characteristic at 80°C .

The shape memory alloy wire of $500\text{ m}\varnothing$ at 100°C was molded into a coil shape with a diameter of $5\text{ mm}\varnothing$ by winding it on a jig at 100°C . Then, it was cooled down to room temperature, and the shape memory alloy wire was elongated until it had a linear shape. This was used as the compressive member.

The optical fiber that was used was a single mode optical fiber in which an optical fiber element wire with a diameter of $0.25\text{ mm}\varnothing$ was coated with an ultraviolet-curable resin. The shape memory alloy as the compressive member and the optical fiber formed as mentioned above

were twisted at a pitch of 300 mm, so that an optical fiber sensor was obtained. The propagation loss of the optical fiber in the twisted state was 0.45 dB/km at a wavelength of 1.3 μm .

One end of the optical fiber sensor prepared in this manner was connected to the optical fiber analyzer, and when hot water of 90°C was applied to an arbitrary position of the sensor, the shape memory alloy was restored to its original coil shape at this position, and bending was caused in the optical fiber. At that time, a step difference corresponding to a level decrease of 0.06-0.2 dB was observed on the optical fiber analyzer. Also, when the section changed to the coil shape was returned to its original straight state after normal temperature were restored, the step difference on the optical fiber analyzer disappeared. Furthermore, when this operation was repeated, the above-mentioned step difference appeared with favorable reproducibility. On the other hand, no change was observed in sections to which hot water of 75-70°C was applied.

Effect of the invention

As explained above, if the optical fiber sensor of the present invention is used, the detection part can be continuously arranged over a long distance, and if a thermal abnormality is detected, the position can also be detected. Such a characteristic is due to the unique constitution of the optical fiber sensor of the present invention, and it cannot be realized at all by conventional heat-sensitive sensor.

Also, the optical fiber sensor of the present invention can be favorably used in facilities, such as cables for communication, power, etc. and supply pipes for gas, city water, petroleum, etc., which must be monitored continuously for thermal abnormalities over long sections.

Since the optical fiber itself is nonconductive and chemically stable and the compressive member can be broadly selected in accordance with the necessary detection temperature range, etc., the usable application field of the optical fiber sensor is very large.

Brief description of the figures

Figures 1(a) and (b) are schematic diagrams showing a constitutional example of the optical fiber sensor of the present invention and its operation.

Figures 2(a)-(d) are illustrative diagrams showing another constitutional example of the optical fiber sensor of the present invention and its manufacturing processes.

Figures 3(a) and (b) show another constitutional example of the optical fiber sensor of the present invention and its operation.

(Main reference numbers)

- 1 Optical fiber
- 2, 22, 30 Compressive members (resins)
- 4 Optical fiber analyzer
- 23, 32 Coil springs
- 31 Spacer

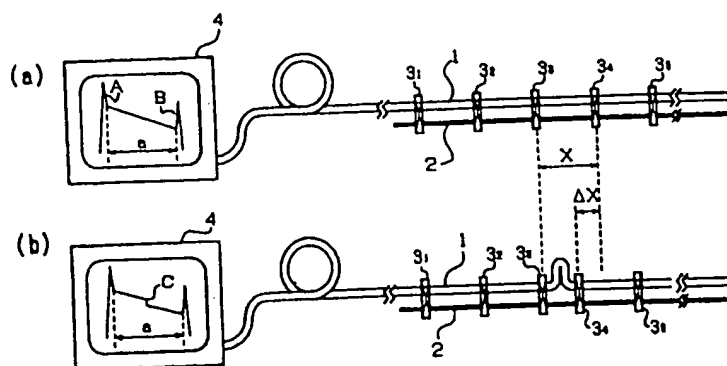


Figure 1

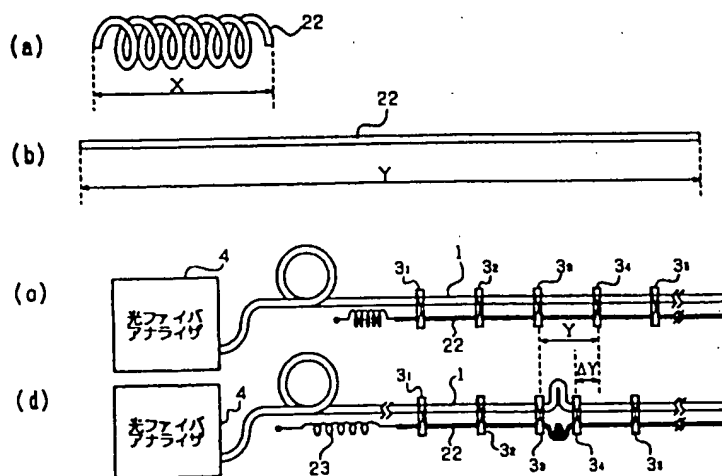


Figure 2

Key: 4 Optical fiber analyzer

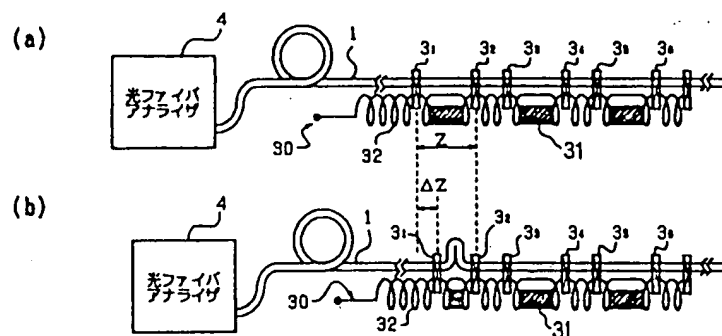


Figure 3

- Key:
- 1 Optical fiber
 - 4 Optical fiber analyzer
 - 22 Shape memory alloy
 - 23, 32 Coil springs
 - 2, 30 Compressive members
 - 31 Spacer

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.